

# 利用 DSP 与 CPLD 相结合的方法实现 对单元串联型多电平高压变频器的控制

江 超

(兰州石化公司动力厂电气部,甘肃 兰州 730060)

**摘 要:**随着新型电力电子器件的不断涌现和计算技术的不断发展,高性能的异步电动机调速系统在工厂实践中得到了广泛的应用。而高压变频调速是近几年刚刚开始应用的一种高新技术,不仅解决了大功率风机、水泵的软启动和调速问题,而且节能显著,具有较大的应用市场和广阔的发展空间。在总结出利用单元串联型拓扑结构实现高压输出的基础上对其控制方法的硬件实现进行了说明。

**关键词:**高压变频器;单元级联;功率单元

**中图分类号:**TF331.5

## 1 从硬件方面分析

我国的各种工业中使用着大量的风机、水泵等有着节能潜力的控制对象,特别是高压、大容量的设备,基本都采用高压电动机且为不可调速的恒速马达。由于工艺要求的不同,有的设备在整个工艺控制中有 50% 以上为空载或者非常低负荷下运行。这对能源是一种极大的浪费。由于种种原因,变频器在高压电动机上一直没有广泛应用。高压电动机利用高压变频器可以实现无级调速,满足生产工艺过程对电动机调速控制的要求,高压变频器的应用对于提高产品的产量和质量、大幅度地节约能源,降低使生产成本有着重大意义。由于市场上对高压、大容量变频器的需求量很大,而国内的生产能力还很低,因此开发高压变频器,推广应用高压变频器是一种必然的趋势,有着非常重大的现实意义和巨大的社会经济价值。针对高压异步电动机变频调速系统设计了 6kV/800kW 单元串联型多电平高压变频器。

### 1.1 单元串联型主电路拓扑结构

经过对各种变频器的拓扑结构比较分析之后,我们得出的结论是:高压变频器采用若干个独立的低压功率单元串联的方式来实现高压输出。其原理如图 1 所示。

6kV 输出电压等级的变频器的主电路拓扑结构如图 2 所示。电网电压经过二次侧多重化的隔离变压器降压后给功率单元供电,功率单元为三相输入、单相输出的交一直一交 PWM 电压源型逆变器结构,将相邻功率单元的输出端串接起来,形成 Y 联

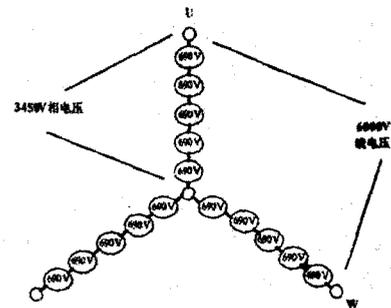


图 1 单元串联多电平变频器原理

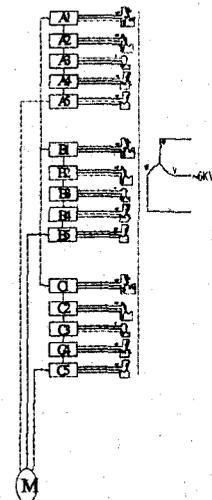


图 2 单元串联主电路拓扑结构

结构,实现变频变压的高压直接输出,供给高压电动机。每个功率单元分别由输入变压器的一组二次绕组供电,功率单元之间及变压器二次绕组之间相互绝缘。

对于额定输出电压为 6kV 的变频器,每相由 5 个额定电压为 690V 的功率单元串联而成,输出电压最高可达 3450V,线电压可达 6kV 左右。每个

功率单元承受全部的输出电流,但只提供 1/5 的相电压和 1/15 的输出功率。当每相由 3 个额定电压为 480V 的功率单元串联时,变频器输出额定电压为 2300V;当每相由 4 个额定电压为 480V 的功率单元串联时,变频器输出额定电压为 3300V;当每相由 5 个额定电压为 480V 的功率单元串联时,变频器输出额定电压为 4160V;当每相由 5 个额定电压为 1275V 的功率单元串联时,变频器输出额定电压为 10kV 左右。所以,单元的电压等级和串联数量决定变频器输出电压,单元的电流额定值决定变频器输出电流。由于不是采用传统的器件串联的方式来实现高压输出,而是采用整个功率单元串联,所以不存在器件串联引起的均压问题。该变频器的一个发展方向就是采用额定电压较高的功率单元,比如额定电压为 1275V 的单元,单元内可采用 3300V 的 IGBT,以达到在满足输入、输出波形质量要求的前提下,尽量减少每相串联单元的个数,降低成本,提高可靠性。功率单元采用模块化结构,所有的功率单元可以互换,维修也比较方便,每个单元只有 3 个输入、2 个输出电气连接端和一个光纤插头与系统连接,所以功率单元的更换十分方便。采用功率单元自动旁路技术可使变频器在功率单元损坏的情况下继续运行(降额运行),大大提高系统的可靠性。若采用冗余功率单元设计方案,即使在功率单元损坏的前提下,还能满载运行。由于采用二极管整流电路,所以能量不能回馈电网,不能四象限运行,主要应用领域为风机和水泵。

总之,对于带分离直流电源的串联型多电平逆变器来说,要获得更多的电平只需将每相所串联的单元逆变桥数目同等增加即可。一般二极管钳位式、电容钳位式限于七或九电平,串联型结构因无二极管和电容的限制,电平数可较大,适合更高电压,谐波含量更少。

### 1.2 高压变频器功率单元

对于额定输出电压为 6kV 的变频器,每相由 5 个额定电压为 690V 的功率单元串联而成,输出相电压最高可达 3450V,线电压可达 6kV 左右,每个功率单元承受全部的输出电流,但只提供 1/6 的相电压和 1/18 的输出功率。由于串联功率单元较多,对单元本身的可靠性要求很高这种变频器的一个发展方向是采用额定电压较高的功率单元,以达到在满足输入输出波形质量要求的前提下,尽量减少每相串联单元的个数,降低成木,提高靠性。

功率单元的结构如图 3 所示,三相交流电整流

后经滤波电容滤波形成直流母线电压。当功率单元额定电压为 690V 时,直流母线电压为 900V 左右。逆变器由 4 个耐压为 1700V 的 IGBT 模块组成 H 桥式单相逆变电路,通过 PWM 控制,在 T1 和 T2 两端得到变压变频的交流输出,输出电压为单相交流 0~690V,频率为 0~55Hz(根据电动机的额定功率,可以相应的调整,最高可达 120Hz)。由于采用二极管不可控整流电路结构,所以变频器对浪涌电压的承受能力较强,雷击或开关操作引起的浪涌电压可以经过变压器(变压器阻抗一般为 8% 左右),产生浪涌电流,经过功率单元的整流二极管,给滤波电容充电,滤波电容足以吸收进入到单元内的浪涌能量,而一般的电流源型变频器,输入阻抗很高,对浪涌电压的吸收效果就远远不如电压源型变频器。

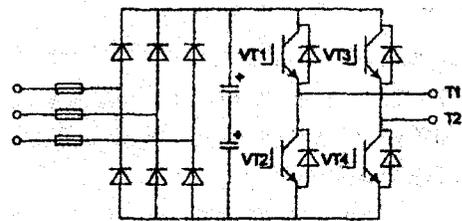


图3 高压变频器功率单元电路

## 2 控制方法的硬件实现

单元串联变频器通过功率单元串联的形式输出电压,单元的串联多电平逆变技术既使得改善输出波形成为可能,同时也带来了如何分配功率单元出力的问题。这就需要一种合理的 PWM 调制方法,既使得输出波形谐波最小,同时又可以平均分配各单元的出力。多电平逆变器的性能受 PWM 控制策略的影响十分大。在目前的研究和应用中存在着多种多电平的 PWM 控制策略,其中空间矢量调制和载波调制是目前研究和应用最为普遍的两种方法。这两种方法经常被认为具有不同的控制效果,例如在谐波含量、直流电压利用率等性能上。采用的控制方法是三相载波型 SPWM 技术。

多电平逆变器不同于传统的两电平逆变器,因调制策略的特殊性而引起的脉冲分配,使其在实际应用中变得复杂,同时,现有的数字信号处理器 DSP 所具有的 PWM 接口仅适用于两电平逆变器,因此在 DSP 与多电平逆变器的开关器件之间,存在驱动脉冲的接口问题。采用数字信号处理器(DSP)和复杂可编程逻辑器件(CPLD)结合的数字化控制系统。DSP 部分主要完成系统的实时计算、算法生成,是整个控制系统的核心。CPLD 部分根据 DSP 实时

计算的 SPWM 脉宽,分时(根据采样周期)生成三串十五个功率单元的 60 路 PWM 波形。并通过隔离光耦把脉冲信号传输给各个开关器件。该控制系统便于实现载波移相 PWM 控制算法,能够对多单元系统中的三角载波相位进行精确锁定,该设计原则也可以很好的应用于其他多电平技术,解决驱动脉冲的接口问题,对其他多电平变频器的数字化实现具有借鉴意义。

该控制电路主要实现以下功能。

#### (1) 实现级联多电平逆变器的控制算法

DSP 作为整个控制系统的核心,可以实现级联多电平的各种控制算法,实现开环运行或转速闭环的高精度调节运行,从而达到调节电机转速和节能的目的,并且可以实现数据的采集、处理和发送。

#### (2) 产生开关器件触发脉冲

根据所运用的控制算法,产生驱动逆变器功率开关器件的控制脉冲,控制主电路 IPM 模块内 IPM 的导通和关断,使多电平逆变器输出正确的符合频率以及幅值要求的电压波形。

#### (3) 运行控制和状态监控

运行控制主要完成根据操作人员设定的参数,改变运行状态,如输出电压频率、幅值和上升时间等。若为转速闭环控制,则可设定最终的运行转速。状态监测主要是实时监测系统的电压、电流、和频率等运行参数,观测功率模块的运行是

否正常等运行状态,以便操作人员随时了解装置的运行状况。

#### (4) 保护功能

当逆变器功率单元发生故障时,要求功率单元能够迅速封锁 IGBT 脉冲,功率单元,及时让变频器停止工作,起到对变频器的保护作用。

### 3 结语

总之,高压变频器正处于产品的发展完善过程之中,正向着高可靠、低成本、高输入功率因数、高效率、低输入输出谐波、低共模电压以及低/等方向发展。由于级联型多电平高压变频器具有对电网谐波污染小,输入功率因数高,输出波形好等优点,近年来,级联型多电平变频器在高压电机节能调速领域发展较快。

级联多电平功率变换技术可以使耐压值较低的全控型电力电子器件可靠应用于高压大功率领域,并有效减少 PWM 控制产生的高次谐波,但应指出的是多电平功率变换电路的拓扑结构和控制方法较为复杂。

#### 参考文献:

- [1] 吴忠智,黄立培,吴加林. 调速用变频器及配套设备选用指南[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [2] 何湘宁,陈阿莲. 多电平变换器的理论和应用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2006.

(上接第 10 页)

#### 2.7 优化社会生态化旅游系统

天水市在“创佳”中应着眼于“社会生态意识”,从自然生态与人类社会之间的良好协调关系出发,应在环境目标导向下,通过研究环境、保护环境、利用环境去创造“人与自然和谐共生”的持续发展的目的地。通过创新旅游产品,满足旅游者求新、求奇、求特、求知的需求;通过发展旅游为当地居民提供高质量的公共游憩空间,使当地居民从发展旅游中获益,进而提高当地居民对旅游发展的满意度、参与度及获益度。

#### 2.8 形势创新,文化-旅游有机结合

关于文化与旅游的有机结合,需要做出不懈的努力。积极的探索和尝试,力求在旅游和文化的结

合上走出一条新路子。要以天水深厚的历史文化特别是伏羲文化为题材,按照“政府搭台、市场运作”的方式,高起点、大手笔着手策划创编相关主题的大型歌舞剧,再现文化背景,增强游客的参与性,全面提升天水旅游文化内涵。

#### 参考文献:

- [1] 李亚明. 天水城乡居民收入稳定增长 生活水平不断提高[R]. 天水市统计局,2009-06.
- [2] 胡丽霞. 天水旅游基础设施建设驶入快车道[N]. 天水日报,2009-08-23(2).
- [3] 辛闻. 大手笔谋划 大举措落实 全力推进天水旅游产业提速发展[N]. 天水日报,2009-04-22(1).
- [4] 吴必虎,冯学钢,李咪咪. 中国最佳旅游城市标准的理论与实施[J]. 旅游学刊,2003(6).